

금강하구역에서 영양염 거동에 대한 조석 및 담수유출의 영향

김종구·강훈
군산대학교 토목환경공학부
(2002년 1월 21일 접수; 2002년 6월 18일 채택)

The Effect of Tidal Cycle and River Runoff on the Dynamic of Nutrients in Keum river estuary

Jong-Gu Kim and Hoon Kang

Dept Civil and Environmental Engineering of Kunsan National University, Kunsan 573-702, Korea
(Manuscript received 21 January, 2002; accepted 18 June, 2002)

This study was to evaluate the impact of river runoff and salt intrusion by tide on nutrient balance of estuary during a complete tidal cycle. 24 hours time series survey was carried out during a spring tide July 2001 on a tidal estuary in the Keum river. Three stations(A,B,C) were set along a transect line of about 10km, which linked the lower part of estuary dyke to the subtidal zone. Surface water was sampled simultaneously at each station every hours for the determination of nutrients. Water temperature, pH and dissolved oxygen were measured in situ. Riverine input of silicate and nitrate during ebb tide significantly increased the concentration of all stations. Conversely, during high tide, nutrient concentration were lowered by the mixing of fresh water with sea water. Ammonium nitrogen concentration were higher at intertidal zone(Stn.B) due to sewage inflow to Kyeongpo stream and ammonium release under anaerobic conditions. Also, these results was discussed as a biological component that influences the processes of nutrient regeneration within the estuary. Best correlations were found at lower part of estuary dyke(Stn.A) for salinity against DIN($Y=0.121 \text{ Sal}+4.97$, $r^2=0.956$) and silicate($Y=0.040 \text{ Sal}+2.62$, $r^2=0.785$). But no significant correlation was found between salinity and ammonium. Unbalanced elemental ratio(N/P, Si/N and Si/P) depended significantly on the import of nutrients (silicate & nitrate nitrogen) from river and stream. The effect of the tidal cycle and river runoff is important that in determining the extend of the variations in nutrient concentrations at all station.

Key words : Tidal estuary, river runoff, nutrient regeneration, element ratio

1. 서론

하구는 해양과 육지의 접경지로서 육상의 영향을 직접 받고 있을 뿐만 아니라 육상의 영향정도에 따라 서로 다른 해양 환경의 특성을 나타내게 되는 곳이다.

금강하구는 담수와 해수가 만나 물질 혼합이 지속적으로 이루어지는 수질의 변화가 큰 해역이다. 이러한 금강 하구역은 1994년 9월 금강하구둑 폐쇄 이전에는 담수 방류량에 비해 조석의 영향이 우세

한 완전혼합형 하구에 속하였으나,¹⁾ 갑문 폐쇄 후에는 하구해역과 금강 상류가 완전 차단되는 부분혼합형 또는 염분쇄기형으로 물리 특성이 변화하였다.²⁾ 금강하구는 1994년 이전에는 다량의 유입 담수와 조석에 의한 유동에너지가 크기 때문에 오염물질의 유입에도 불구하고 해양생물상의 변동은 크지 않았으나, 1994년 이후 금강하구 수문조작에 따라 담수의 간헐적 유입에 따른 유동에너지의 감소로 인하여 수괴 투명도 등의 물리적 변화와 함께 물질순환형태의 변화가 나타나기 시작하여, 해역의 화학·생물학적 환경특성을 크게 변화시켰다.

금강하구의 자연환경특성에 대한 물질변화를 연구한 기존의 연구를 보면, 금강하구의 해수순환역학

Corresponding Author : Jong-Gu Kim, Dept. of Civil and Environmental Engineering of Kunsan National University, Kunsan 573-702, Korea
Phone : +82-63-469-1874
E-mail : kjg466@kunsan.ac.kr

에서 하구의 염분변동은 소조기가 대조기보다 심하며 퇴적작용도 소조기에 더 활발하다는 보고³⁾에서 조석에 따른 물질의 변동이 크게 변화함을 알 수 있으며, 금강하구에서 탁도최고치의 형성은 금강에서의 담수 유입과 강한 조류의 상호역학적인 관계에 의한 침식과 퇴적물의 재부상이 주 요인이라고 설명⁴⁾에서 조석과 담수유입에 의한 오염물질의 변화가 크게 일어남을 알 수 있다. 그리고 하구에서 유속 및 유량의 계절변화 및 하상퇴적물의 특성에 관한 연구⁵⁾와 하구역에서 질소화합물 순환과 클로로필 a의 분포결정에 관한 연구⁶⁾에서 담수유입에 따른 계절적 변화와 생물변동에 따른 변화가 중요한 역할을 함을 알 수 있다. 또한 하구둑 건설과 수문 조작후의 수질특성에 관한 연구에서 금강하구에서 하구둑 수문 조작으로 인한 환경변화로써 담수방출량의 우기 집중현상 및 조류의 감소, 부유물질의 감소, 영양염의 증가가 예측한 연구⁷⁾가 있으며, 하구둑 건설전후의 수질변동 특성과 장기관측자료를 이용하여 1990년부터 2000년까지 수질변동의 특성을 조사하여 하구둑 수문 가동시기인 1994년을 기점으로 수질이 크게 변화하였다는 연구 결과^{8,9)}를 발표하였다.

일반적으로 조석하구의 큰 변화성의 중요한 양상은 물의 물리화학적 특성에 대한 조석주기의 단기적 효과와 담수의 유입특성과 밀접한 관계가 있다.¹⁰⁾ 대조와 소조 때의 조수변화는 수주의 몇몇 중요한 매개 변수의 큰 변화를 결정한다. 이를테면 염분, 영양물질 그리고 미립자 물질 등이다. 이와 같은 변화의 범위는 조수 상태 또는 진폭에 따라 의미심장하게 변화 할 수 있다. 더욱이 문제는 하구의 특성에 따라 담수의 간헐적 유입이나 소하천을 통한 생활하수의 유입, 저질환경 악화로 인한 영양염 용출 등 다른 환경변수가 존재하는 하구해역에서는 이들 변수의 거동이 대단히 복잡하게 될지도 모른다는 것이다.

이러한 변화성에 대한 정량적 접근을 시도한 연구를 보면, 스코트랜드 동부연안에 위치한 Tweed 하구에서 바다쪽 끝에서 염수가 침입하는 최상류지점까지 길이방향으로 수직적 조사를 실시하였고,¹¹⁾ 동일한 스코트랜드의 9개 강에서 길이방향의 조사가 계절별로 3-5일간의 조사를 대조기에 실시하여 각 하구에서의 영양염 특성을 비교한 결과, 영양염 농도는 토지이용 특성과 관련이 있다고 보고¹²⁾하였다. 또한 콜로라도강 Delta에서 영양염의 공간적 분포에 대한 계절변화를 창조시의 조사를 통하여 비교한 바가 있다.¹³⁾ 이들 모든 연구는 횡단선을 따라 몇 km의 간격으로 이동하면서 실시되었고, 시료채

취 사이의 이동된 시간, 조류에 대한 조석의 위치와 변화, 담수유출의 넓은 범위 등을 파악하는데 문제점이 제기되었다. 그래서 하구수질의 단기적 변동을 정량적으로 접근하기 위하여 연속조사가 이루어졌다.^{14,15)} 연속관측은 하구역의 단기 가변성에 대한 일일변화를 다른 상황의 대등한 실시간 정보로 짧은 거리 하에 조석주기의 효과와 담수 유입특성에 관한 영향을 이해할 수 있다.

금강하구에 대한 기존의 연구에서도 일별, 월별 또는 계절별 관측자료를 바탕으로 장기적인 변동특성을 조사하고 물질의 거동을 파악하였으나, 조석의 시간주기변동과 육상으로부터의 시간변동 요인에 의한 수질변화 특성을 파악한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 금강하구의 3지점에서 24시간 동안 시간대별로 연속관측을 실시하여 조수의 변화 및 하구둑 수문 조작에 따른 수질변동 특성을 파악하고, 하류로 유출되는 과정에서 오염물질의 변동 특성을 조사하며, 수질인자 간의 상관분석을 통하여 오염물질간의 관계를 규명하고, 화학양론적 관점에서 영양염 특성을 평가하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 지역개괄

한반도 서해 중서부에 위치하고 있으며 전라북도와 충청남도 사이를 통과하여 군산항으로 유출되는 유로 연장 421Km의 큰 하천이다. 또한 그 유역 면적이 9,886 Km²에 이르고, 유역내의 경지면적도 약 257×10³이며, 연간 하천배수량은 약 64억톤에 달하고 중부 지방의 농·공업용수와 주변 도시의 상수원으로서 중요한 하천이다.¹⁶⁾

금강하구인 군산항에서의 평균조차는 대조시 약 5.7m로 갈수기에는 하구로부터 약 60Km의 상류지역까지도 해수의 유입이 있는 전형적인 감조하천이나, 조석주기에 따른 금강하구역으로의 해수침입을 막고 보다 많은 수자원을 개발하기 위해 군산에서 장항에 이르는 총길이 1,841m의 하구둑이 건설됐으며, 남측도류제 건설로 인하여 금강하구는 길이 약 21Km의 하천형 감조수역으로 바뀌게 되었다.

2.2 시료 채취

금강하구에서의 수질거동에 미치는 조석의 영향 및 하구둑 수문조작의 영향을 조사하기 위하여 2001년 7월 6일 16시~7월 7일 16시까지 24시간 동안 하구둑과 군산 내·외항의 3개 지점(Fig. 1)에서 수면하 50cm의 표층수를 1시간 간격으로 채수하였다.

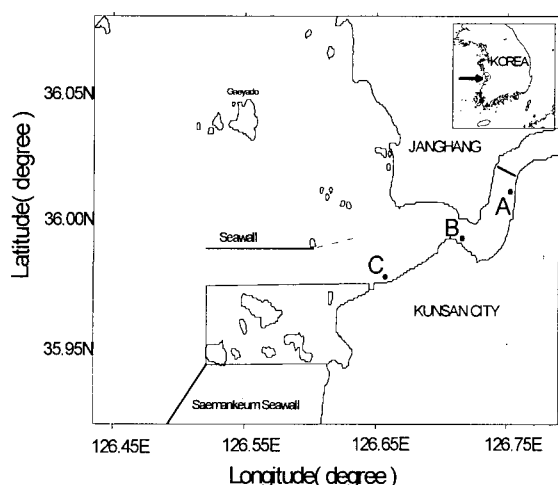


Fig. 1. Study area and location of the sampling station along tidal estuary.

2.3. 수질분석

수질분석은 해양환경공정시험법¹⁷⁾ 및 그에 준하는 시험법으로 행하였다.

수온은 봉상온도계로 현장에서 측정하였고, 염분은 염분검출기(Digi-Auto 3G, Japan)를 이용하였으며, 수소이온농도 (pH)는 pH meter(MP - 220K)를 사용하여 측정하였다. 용존산소(dissolved oxygen)는 윙클러-아지드화나트륨(winkler-azide natrium) 변법으로 측정하였고, 부유물질(suspended solid)은 유리섬유여지(GF/C)를 이용하여 시료 일정량을 여과, 건조후 무게차로 측정하였으며, 화학적산소요구량(chemical oxygen demand)은 알카리성 과망간산 칼륨법으로 측정하였다. 영양염류로서 암모니아질소(NH₄⁺-N)는 Indophenol법으로, 아질산질소(NO₂⁻-N)는 NED법으로, 질산질소(NO₃⁻-N)는 Cd-Cu 환원법으로 측정하였다. 인산인(PO₄³⁻-P)은 아스코르브산법으로, 규산염(SiO₂-Si)은 규소-몰리브덴산 착체법으로 비색 정량하였다. 클로로필 a(Chlorophyll a) 농도는 Strickland & Parson법¹⁸⁾으로 정량하였다.

2.4. 상관관계 분석

수질인자간의 상관관계분석(correlation analysis)을 통하여 수질인자간의 관계를 분석하고, 수질인자간의 관련성을 근거로 한 수질의 변동 특성을 평가하였다. 조사자료를 이용한 인자간의 상관성 분석을 위하여 SPSSwin 7.5를 사용하여 상관분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질 변동 특성

금강하구 3개 지점에 대한 24시간 연속관측 결과

Table 1. Range and mean values of water quality item for Kuem River Estuary

Item	Station	St. A	St. B	St. C
	Temp (°C)	Range	25.7~29.9	25~28
	Mean	27.1	26.2	24.7
pH	Range	7.11~7.55	6.81~7.62	7.4~7.8
	Mean	7.32	7.39	7.7
Sal (‰)	Range	0.13~17.01	1.15~18.39	18.22~25.63
	Mean	7.84	12.16	22.26
DO (mg/L)	Range	4.04~8.41	4.49~5.51	4.14~8.28
	Mean	5.34	4.93	5.85
TSS (mg/L)	Range	16.5~190	26.5~208.5	16.4~268
	Mean	190	208.5	268
COD (mg/L)	Range	4.58~10.91	3.84~20.32	6.3~16.24
	Mean	7.16	13.44	11.63
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	Range	0.63~1.358	0.873~7.734	0.242~1.115
	Mean	1.03	1.674	0.758
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	Range	0.112~0.248	ND~0.256	0.023~0.108
	Mean	0.195	0.153	0.061
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	Range	1.619~3.922	0.106~3.81	0.008~3.787
	Mean	2.79	2.011	1.158
DIN (mg/L)	Range	2.665~5.044	1.677~7.834	0.88~4.789
	Mean	4.014	3.838	1.977
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	Range	0.043~0.135	0.046~0.259	0.024~0.059
	Mean	0.07	0.074	0.046
SiO ₂ -Si (mg/L)	Range	1.653~2.701	1.496~3.719	0.861~0.525
	Mean	2.31	2.022	1.231
Chl.a (mg/m ³)	Range	2.858~21.559	0.512~13.304	0.004~18.674
	Mean	9.878	4.22	3.285

를 Table 1에 나타내었다. 또한 조사시간 동안의 조석변동¹⁹⁾을 Fig. 2에 나타내었고, 조사시기 전후의 강우특성²⁰⁾을 Fig. 3에 나타내었다.

조사시간 동안의 조석변동은 저조시인 16시에 시작하여 저저조시인 22시 41분에 101cm였고, 고조시인 04시 29분에 683cm이었다. 조사중에 하구둑의 수문을 방류하였는데 고조시에 가까운 07시~08시 사이에 방류를 시작하여 10시경에 수문을 닫았다(Fig. 2).

조사시점에서의 강수의 영향을 파악하기 위하여 조사시점을 전후로 보름간 강수의 변동을 살펴보았으나, 6월 말의 강수와 7월 1일 약 4mm의 강수를 받았으나, 그 영향은 크지 않을 것으로 판단되었다.

일반항목 특성

수온은 일사량 및 일조 시간에 영향을 받아 일반

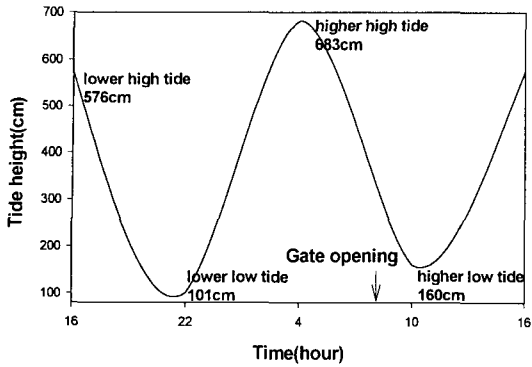


Fig. 2. Spring-tide cycle during the 24 hours survey of July 6~7, 2001.

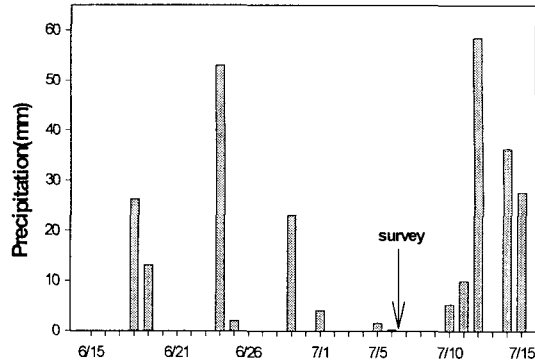


Fig. 3. Precipitation recorded during June 15 ~ July 15, 2001.

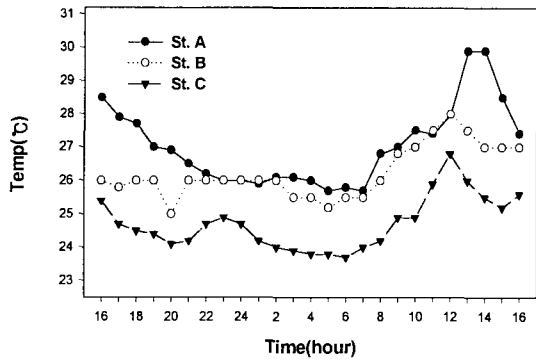


Fig. 4. Time series variation of water temperature at each station.

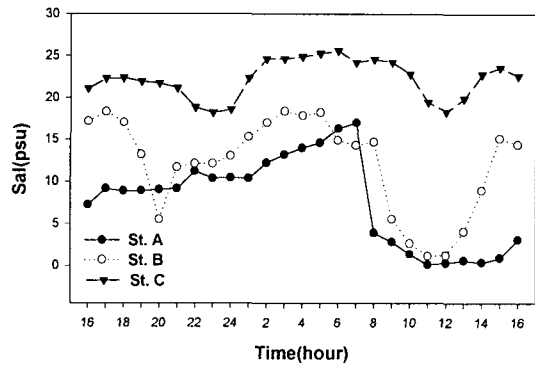


Fig. 5. Time series variation of salinity at each station.

동의 특성을 잘 나타내고 있었고, 지점C에서는 조석의 영향을 보였는데 저조후 1시간내 가장 높은 수온을 나타내는 경향을 보였다. 지점별로는 담수유입지점에서 높은 수온분포를 보였고 외해유출지점에서 낮은 수온을 나타내었다(Fig. 4).

수괴의 특성을 규명하는 인자인 염분의 지점별 변동은 지점A에서 0.13~17.01psu(평균 7.84psu), 지점B에서 1.15~18.39psu(평균 12.16psu), 지점C에서 18.22~25.63psu(평균 22.26psu)로 나타났다. 염분변동은 지점B에서 20시에, 지점A에서 08시 이후에 담수유입의 영향으로 염분농도가 급격히 떨어지는 것이 관측되었다. 특히 하구둑 수문개방으로 인한 염분의 감소는 지점A에서 08시에 급격한 감소를 보였고, 지점B에서는 약 1시간 뒤인 09시에 감소를 보였으며, 지점C에서는 약 3시간 후에 감소하는 경향을 나타내어 하구둑을 기점으로 지점B와 C에서 각각 1시간과 3시간의 lag time이 있었다(Fig. 5).

일반적으로 해수는 pH 8 부근의 약 알칼리성을 가진 중탄산 완충용액으로서 그 변화가 적다. 그러나 연안이나 내만의 해수는 담수의 영향으로 일시

적인 조건하에서 pH의 변화를 쉽게 받을 수 있다. 지점별 pH의 변동은 지점A에서 7.11~7.55(평균 7.32), 지점B에서 6.81~7.62(평균 7.39), 지점C에서 7.4~7.8(평균 7.7)을 나타내고 있어 일반적인 경향을 나타내고 있었다. 그러나 염분의 변동과 유사하게 지점B의 20시에 7이하의 낮은 pH를 보여 이 시점에서 다량의 담수유입이 있는 것을 알 수 있고, 특히 지점A에서 08시부터 pH가 7부근으로 떨어지는 것을 볼 수 있는데 이는 하구둑 수문개방에 따른 영향으로 판단된다(Fig. 6).

용존산소는 어패류의 산란 및 성장에 중요한 역할을 하며 수괴의 혼합특성을 나타내는 중요 인자로서 지점별 변동은 지점A에서 4.04~8.41mg/L(평균 5.34mg/L), 지점B에서 4.49~5.51mg/L(평균 4.93mg/L) 지점C에서 4.14~8.28mg/L(평균 5.85mg/L)를 나타내고 있었으며, 특히 지점B에서 낮은 농도를 보였는데 이는 지점B에 군산시 생활하수가 유입되는 경포천과 하수도가 위치하고 있어 이것의 영향을 받기 때문으로 판단된다(Fig. 7).

금강하구역에서 영양염 거동에 대한 조석 및 담수유출의 영향

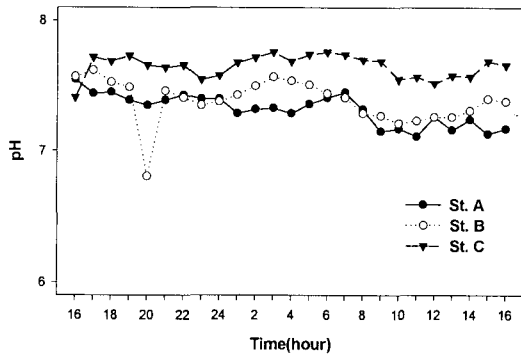


Fig. 6. Time series variation of pH at each station.

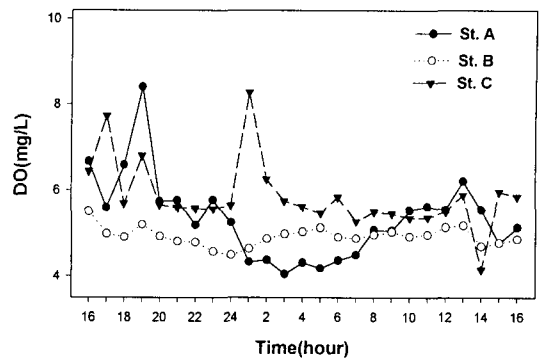


Fig. 7. Time series variation of DO concentration at each station.

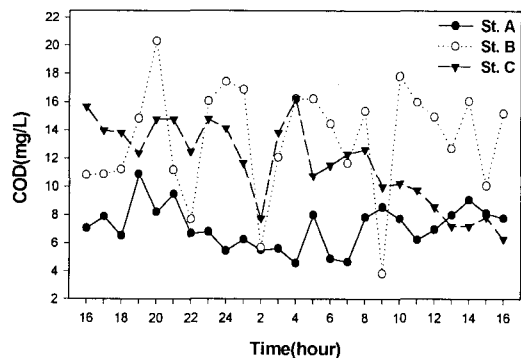


Fig. 8. Time series variation of COD concentration at each station.

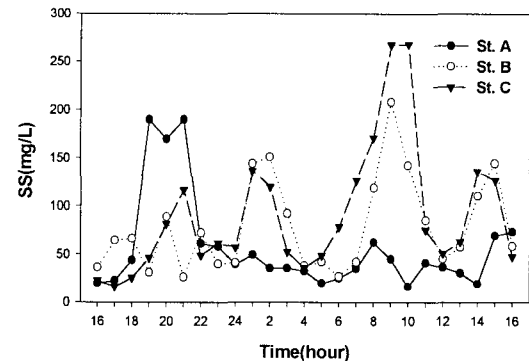


Fig. 9. Time series variation of TSS concentration at each station.

해역의 유기오염 지표로 사용되는 화학적산소요구량(COD)의 지점별 변동은 지점A에서 4.58~10.91 mg/L(평균 7.16mg/L), 지점B에서 3.84~20.32mg/L(평균 13.44mg/L), 지점C에서 6.30~16.24mg/L(평균 11.63mg/L)를 나타내고 있으며, 변동폭이 크게 나타나 일정한 경향을 찾을 수가 없었다. 그러나 지점A에서 08시 이후 조금 증가하였고, 지점B에서 20시에 높은 COD농도를 볼 수 있었다. 지점별로 하구둑 입구인 지점A에서 낮은 농도를 보였고 지점B는 생활하수의 영향으로 전체적으로 높은 농도를 나타내었고, 지점C에서도 높은 농도를 보였는데 이는 하구에서의 조석으로 인한 유출입되는 과정에서 부유된 유기물질의 영향을 받아 농도가 증가한 것으로 판단된다(Fig. 8).

부유물질은 육상으로부터의 유기·무기물의 유입이나 저층 퇴적물의 재부유에 영향을 받는 인자로서, 빛의 투과율을 방해하여 식물플랑크톤의 광합성 작용을 방해하며 해조류 및 패류의 표면에 부착하여 성장에 영향을 주거나 폐사의 원인이 되기도 한다. 이러한 부유물질의 지점별 변동은 지점A에서

16.5~19.0mg/L(평균 56.9mg/L), 지점B에서 26.5~208.5mg/L(평균 79.0mg/L), 지점C에서 16.4~268.0 mg/L(평균 91.3mg/L)를 나타내고 있었다. 하구둑에서 외해로 갈수록 높은 농도를 나타내었고, 지점C에서 재부유에 의한 영향을 크게 받는 것을 볼 수 있다. 이는 담수유출과 해수유입이 경계를 이루는 지점에서 저층에서의 재부유에 의한 영향으로 부유물질의 농도가 높게 증가한다는 설명⁴⁾과 일치하고 있음을 알 수 있다(Fig. 9).

적조발생 정도를 판정하면서 해역의 기초생산력을 평가하는 인자인 식물플랑크톤은 부영양화된 해역에서 환경조건이 적합할 때 대량으로 번식하는데 그 양은 엽록소의 양으로 나타낸다. Chl.a농도의 지점별 변동은 지점A에서 2.858~21.559 mg/L(평균 9.878 mg/L), 지점B에서 0.512~13.304mg/L(평균 4.220 mg/L), 지점C에서 0.004~18.674mg/L(평균 3.285mg/L)를 나타내었다(Fig. 10). 조석에 따른 일정한 변동특성을 나타나지 않았고, 지점별로 지점A가 높은 농도를 보이며 변동폭이 크게 나타났고 대체적으로 야간에 낮고 주간에는 높으나 변동폭은 심하게 나타

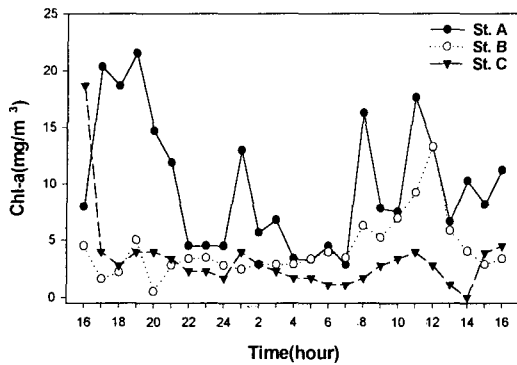


Fig. 10. Time series variation of Chl.a concentration at each station.

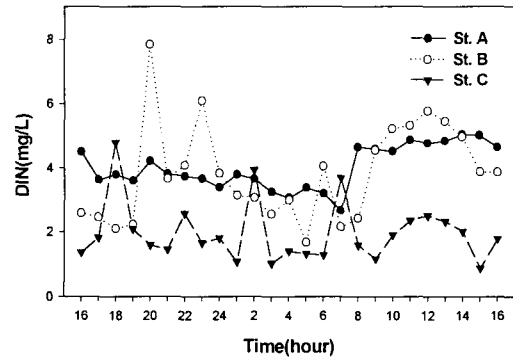


Fig. 11. Time series variation of DIN concentration at each station.

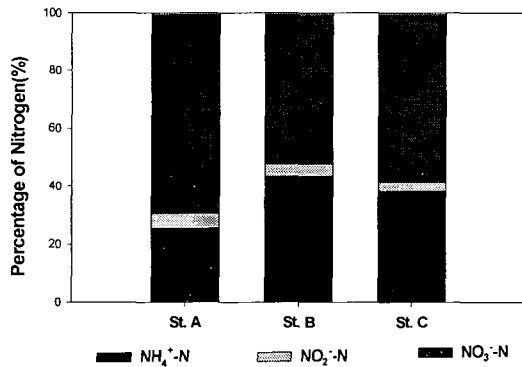


Fig. 12. Proportion of ammonia, nitrate and nitrite nitrogen at each station.

났다. 이는 하구둑 수문개방에 따른 담수유출시 담수조류의 유출에 의한 영향으로 높은 농도를 보이며 큰 변동폭을 나타내는 것으로 판단된다.

영양염류 특성

용존무기질소(DIN)는 해역의 부영양화 정도를 판정하는 척도이며 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양물질로서 해역에서 부족하기 쉬운 원소로 알려져 있고, 생·학적 작용에 의하여 순환하면서 과다하게 존재하면 부영양 해역이 되어 적조 발생의 원인으로 작용한다. 이는 육상으로부터 오염물질의 유입에 의하여 크게 영향을 받는 인자이나 오염된 해역에서는 저층 퇴적물의 용출 및 재부유에 의해서도 영향을 받는다. 지점별 변동을 보면, 지점A에서 2.65~5.044mg/L(평균 4.014mg/L), 지점B에서 1.677~7.834mg/L(평균 3.838 mg/L), 지점C에서 0.880~4.789(평균 1.977mg/L)를 나타내고 있어 하구의 영향을 많이 받는 지점A에서 가장 높았고, 외해역인 지점C에서 가장 낮았다. 그리고 지점B와 C에서 간

헐적으로 변동폭이 크게 나타나고 있으나, 다른 항목과 마찬가지로 지점B의 20시와 지점A의 08시 이후 높은 용존무기질소 농도를 나타내어 담수의 영향에 의한 변동을 볼 수 있었다(Fig. 11).

Fig. 12는 지점에서 조사된 총무기태질소 중 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 점유율을 지점별로 나타내었다. 전체적으로는 질산질소의 점유비가 가장 높았으나, 지점B에서 암모니아질소의 점유비가 약 44%로 다른 지점보다 높게 나타나는데 이는 주변 생활하수의 유입과 저층 퇴적물에서의 암모니아질소 용출에 의한 것으로 판단된다. 반면에 질산질소는 담수의 영향을 받는 지점A에서 가장 높은 비율을 나타내었다.

용존무기인(DIP) DIN과 함께 해양생물의 제한인자로 작용하는 중요한 영양염의 하나로 도시 하수에 포함되어 있는 합성세제와 저층 퇴적물의 용출이 주 발생원이다.²¹⁾ 지점별 변동을 보면, 지점A에서 0.043~0.135mg/L(평균 0.070 mg/L), 지점B에서 0.046~0.259mg/L(평균 0.074mg/L), 지점C에서 0.024~0.059mg/L(평균 0.046mg/L)를 나타내었고, 용존무기질소와 유사한 경향을 보였다. 특히 다량의 생활하수의 영향을 받은 지점B의 20시에 상당히 높은 농도를 나타내었다. 시간별 혹은 조석주기에 따라 뚜렷한 농도 변화를 나타내지 않고 일정한 값을 유지하고 있었다(Fig. 13).

육상기원 물질로서 규조류의 필수영양원인 규산규소는 지점A에서 1.653~2.701mg/L(평균 2.310mg/L), 지점B에서 1.496~3.719mg/L(평균 2.022 mg/L), 지점C에서 0.024~0.059mg/L(평균 0.046mg/L)를 나타내었고 담수유입지점인 지점A에서 가장 높았고 외해로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 특히 담수의 영향을 받은 지점B의 20시와 지점A의 08시 이후에 뚜렷하게 높은 농도를 나타내고 있었다(Fig. 14).

금강하구역에서 영양염 거동에 대한 조석 및 담수유출의 영향

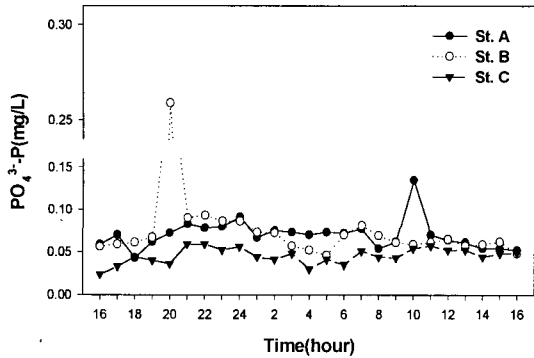


Fig. 13. Time series variation of DIP concentration at each station.

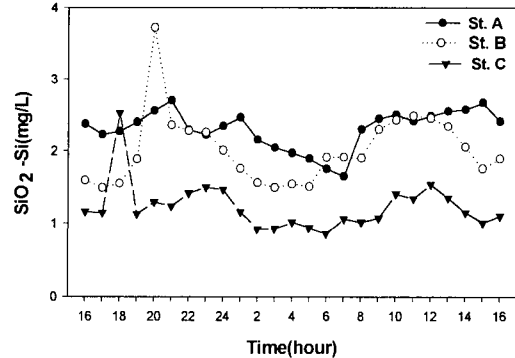


Fig. 14. Time series variation of Silicate concentration at each station.

3.2. 인자간의 상관관계

금강하구해역에 있어서 영양염류의 농도변화 요인을 파악하기 위하여 영양염류와 보존성물질인 염분과의 관계를 Fig. 15에 나타내었다.

영양염류와 염분과의 상관관계 그래프는 대부분이 역 상관관계를 나타내고 있었다. 질산염과의 상관관계를 보면 거의 직선적인 역 상관관계를 나타내었고, 상관식은 지점 A에서 $(NO_3+NO_2) = -0.141 \text{ Salinity} + 4.07$, $r^2 = -0.977$ 로 가장 좋은 상관성을 보였고, 지점 B에서 $r^2 = -0.673$, 지점 C에서 $r^2 = -0.014$ 를 나타내었다. 일반적으로 하구에서의 질산염의 농도는 질산염이 풍부한 담수가 해수에 의해 희석되면서 염분농도의 증가에 따라 감소하는 경향을 가진다는 보고²²⁾에서와 같이, 본 연구에서도 담수의 영향을 받는 지점 A, B에서 높은 상관성으로 확실하게 나타나지만, 담수의 영향이 적은 지점 C에서는 낮은 상관성을 보였다.

암모니아질소와의 상관관계는 거의 나타나지 않았으며, 특히 지점 B에서 $r^2 = -0.301$ 의 낮은 상관성을 보였다. 이는 암모니아질소가 강으로부터 유입되는 것보다 외부오염원이나 내부생산에 의해 증가함을 의미하며, 하계에 퇴적물에서의 물질분해에 의한 재생산과 혐기적 조건에서는 저질에서 공급된다는 사실¹⁰⁾로 해석할 수 있다.

규산염과의 상관관계는 질산염과 같이 역의 상관관계를 나타내고 있으며, 규산염의 상관관계는 지점 A에서 $SiO_2 = -0.040 \text{ Salinity} + 2.62$, $r^2 = -0.785$ 의 상관성을 보였고, 지점B에서 $r^2 = -0.784$, 지점C에서 $r^2 = -0.534$ 로 전체적으로 좋은 상관성을 가지고 있으며, 질산염과 같이 담수의 영향이 적은 외해로 갈수록 상관성이 떨어졌다. 규산염과 질산염의 직선성은 보존적 거동을 의미하며, 시간별 농도변화는 해수와 담수의 혼합비율에 따라 결정됨을 알 수 있다.

인산염의 상관관계를 보면, 지점 A, B에서 염분의 큰 변화에도 불구하고 아주 낮은 상관성을 가지고 있었으나, 오히려 담수의 영향을 적게 받는 지점 C에서 $r^2 = -0.499$ 로 지점 A, B에 비하여 높은 상관성을 보였다. 이는 입자-물의 상호작용이 화학종 분화와 관계가 있는 것²³⁾처럼 인산염과 같은 영양염의 보존적 혼합은 하구의 교환시간과 관계가 있으며, 중염분농도에서 인산염의 농도가 증가하고 외해로 갈수록 감소하며, 탁도가 높고 느린 교환시간을 갖는 하구에서 더욱 명확하다고 보고¹²⁾와는 일치하고 있지 않았다. 본 연구에서 인산염과 염분과의 상관성이 낮은 이유는 지점간의 짧은 거리와 각 지점에서의 동시 채수가 Ball¹²⁾이 보고한 인산염의 중분화 과정에 덜 효과적으로 작용했기 때문으로 판단된다.

이와 같이 감소하천에서 규산염 및 질산염은 보존적인 거동을 하는 반면 인산염은 이들 영양염류와 다른 물질순환과정에 의해 농도가 결정된다는 보고가 다수 있다.^{24~27)} 그 원인으로서는 인산염은 수산화철에 의한 제거, 현탁물질에 의한 흡착 및 탈착 그리고 환경변화(수온, 염분 및 산화환원상태 등)에 따른 흡착·탈착능의 차이 등이 알려져 있다. 예를 들면 양자강 하구역에서 현탁물질의 농도에 관계없이 거의 일정한 인산염 농도를 유지하는 것은 현탁물질에 의한 흡착·탈착 평형에 기인한다고 한다²⁸⁾고 하였다.

3.3. 감소역의 화학양론적 영양염의 균형

조석주기와 담수유출에 기인한 영양염의 분포 특성을 파악하기 위해서 시간별 영양염 원소비인 N/P, Si/N, Si/P비를 Fig. 16에 나타내었다. N/P, Si/N, Si/P비는 해수 중 무기용존질소의 농도, 인산염의 농도, 규산염의 농도 비를 나타내는 것으로 해역에서의 일반적인 식물플랑크톤의 평균비가 N : Si : P = 16 : 16 : 1이므로 N/P가 16보다 크면 질소계 무

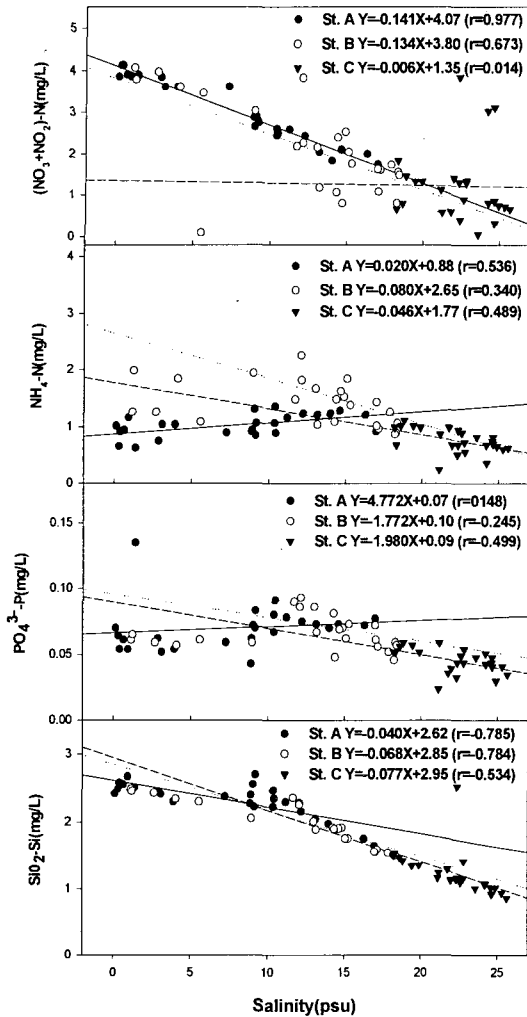


Fig. 15. Nutrients/salinity plots for each stations.

기영양염류가 인산염보다 풍부하므로 인산염이 식물플랑크톤의 제한인자가 되고, 반대로 16보다 적으면 질소가 제한인자가 된다.²⁹⁾ 이와 마찬가지로 Si/N과 Si/P도 N/P와 같음을 알 수 있다.

N/P비를 보면, 전체적으로 N/P비가 16이상으로 인산염이 제한인자로 작용하고 있으며, 지점별로는 지점A에서 일정한 비율을 보이다 담수 유출시인 08시 이후 증가하는 경향을 나타내고 있다. 지점B에서는 시간별 변동폭이 크게 나타났으나, 낙조시보다 창조시에 높은 비율을 보였고 하구둑의 담수유출 영향을 받는 09시 이후 크게 증가하여 62~95의 비율을 나타내었다. 지점C에서는 큰 변동폭으로 일정한 경향은 찾을 수 없으나 18시와 02시, 05시의 높은 비율은 용존무기질소 중 질산질소의 증가에 기

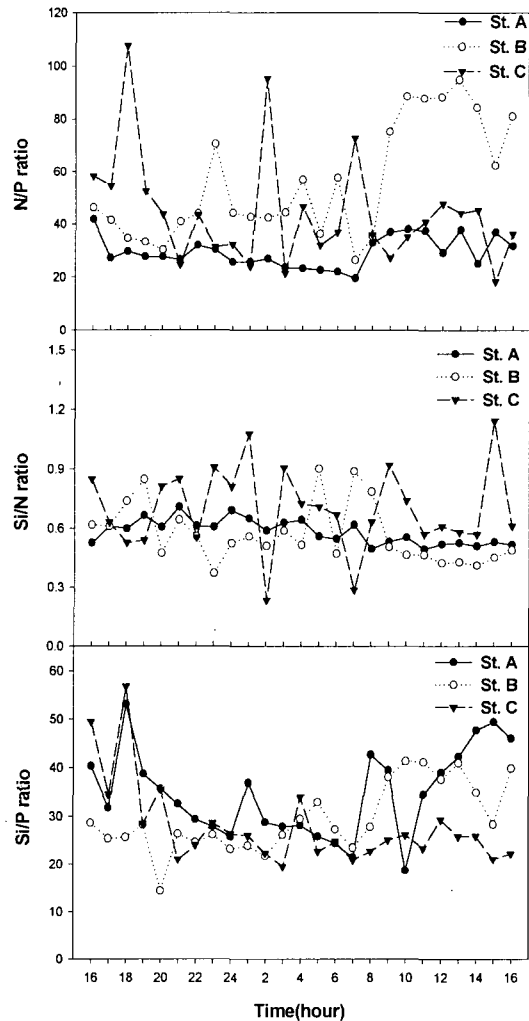


Fig. 16. Time series variations of nutrient stoichiometric balance at each stations.

인한 것으로 나타났다.

Si/P비를 보면, 전체적인 값이 N/P비와 같이 16이상으로 인산염이 제한인자로 작용하고 있으며, 시간별 변동특성도 지점A와 B에서 담수유출의 영향을 받는 08시 이후 Si/P비가 40 정도의 높은 값을 나타내었고, 지점C에서 18시에 높은 규소농도에 기인하여 높은 비율을 나타내었으나 그 외에는 비슷한 값을 보였다.

N/P와 Si/P를 보면 지점A에서 둘 다 비슷한 값을 나타내는 반면 지점B와 지점C에서 N/P가 Si/P보다 거의 1.5~2배 정도 높은 값을 나타내었고, Si/N비에서도 전체적으로 1이하로써 N이 Si보다 높은 농도를 나타내고 있다. 이는 Si보다 N의 농도가 상대적으로 많이 증가했음을 시사하며, 이는 경포천

에서의 질소유입과 함께 퇴적물에서의 질소유출에 영향을 받았기 때문에 판단된다. 전체적으로 볼 때 N/P와 Si/P에서 P가 제한기질로 작용하는데 모두 높은 값을 나타내는 것은 P에 비해 N과 Si가 많음을 알 수 있다.

4. 결 론

금강하구둑 및 내항 그리고 외항의 세 지점에서 시간에 따른 조석에 대한 수질변화 특성을 파악하기 위하여 2001년 6월 16시부터 7월 16까지 1시간 간격으로 24시간 채취하여 조사한 결과는 다음과 같다.

낙조시 하천수 및 생활하수의 유입으로 인하여 DIN, TSS, SiO₂의 농도가 증가하고, 만조시에 감소하는 경향을 보였으나, 창조시와 낙조시에는 높은 유속과 낮은 수심에 의한 퇴적물의 영향 및 복잡한 혼합특성을 보였다. 그러나 20시에 지점 B에서 염분의 크게 농도가 감소하고 반면에 COD, TSS, DIN, PO₄, SiO₂의 농도가 피크를 나타낸 것은 이 시점에서 육상오염원인 경포천과 토구를 통한 생활하수의 유입에 의한 것으로 판단된다.

영양염과 염분과의 상관성을 보면, 규산염과 질산염은 하천기원 물질로서 보존적 거동을 하며, 해수와 담수의 혼합비율에 따라 농도가 결정되었다. 그러나 암모니아질소는 외부오염원이나 내부생산의 영향을 받아 낮은 상관성을 보였다. 인산염도 거의 상관성이 나타나지 않았다.

금강 하구역에서의 N/P, Si/N, Si/P의 비는 조석 주기와 담수의 유입으로 인해 불균형을 이루고 있다. N/P와 Si/P를 보면 St. A에서는 둘 다 비슷한 값을 나타내는 반면 St. B와 St. C에서는 N/P가 Si/P보다 거의 2배정도 높은 값을 나타냄을 알 수 있다. 이것은 Si보다 N이 상대적으로 많이 증가했음을 시사한다. 이것은 경포천에서의 오염물의 유입과 저질에서의 용출에 기인하는 것으로 판단된다. 또한, N/P와 Si/P에서는 P가 제한기질로 작용하였다.

따라서 금강하구의 특성은 일반적으로 하구가 가지는 상류에서 하류로 유하하면서 오염물질이 감소하는 특성과 달리 하류역 주변의 토구 및 지천을 통한 생활하수의 유입에 의한 영향이 크고, 또한 상류 금강하천수의 방류에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 군산대학교 수산과학연구소의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) Chung, J. Y., and I. K. Bhang, 1994, Circulation dynamics of the Keum river estuary-Fluid dynamics characteristics, J. Oceanol. Soc. Korea, 141-152.
- 2) 최진용, 최현용, 서만석, 1995, 하구언 갑문폐쇄 후 금강 하구의 물리, 퇴적학적 특성변화, 한국해양학회지, 28(4), 262-270.
- 3) Chung, J. Y., J. H. Lee, and H. S. An, 1983, Circulation Dynamics of the Keum River Estuary I. Variability of the Salinity Boundary Layer, J. Oceanogr. Soc. Korea, 18(2), 142-48.
- 4) Lee, C. T. and T. I. Kim, 1987, Formation and evolution of turbidity maximum in the Keum River estuary, J. Korean Earth Sci. Soc., 9, 142-162.
- 5) Oh, S. H. and G. H., Lee, 1985, Hydrographic and physicochemical water quality of Keum River, Bull. KACN. 7, 5-16.
- 6) 기준학, 김경렬, 1987, 금강하구에서의 화학적, 생물학적 재과정에 관한 연구 II. Chlorophyll-a 분포 결정 요인에 관하여, 한국해양학회지, 22, 207-215.
- 7) 이용혁, 양재삼, 1997, 금강하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분 변화에 대한 500일간의 연속관측, 「The Sea」 The Journal of Korean Society of Oceanography, 2(1), 1-7.
- 8) 김종구, 권정노, 유선재, 1998, 금강하구둑 건설후의 수질변화, 한국수산학회지, 31(5), 685-695.
- 9) 권정노, 김종구, 고태승, 2001, 장기관측자료에 의한 금강하구둑 수문조작에 따른 수질변화 평가, 한국수산학회지, 34(4), 348-354.
- 10) Montani, S., P. Magni, M. Shimamoto, N. Abe, and K. Okutani, 1998, The Effect of a Tidal cycle on the Dynamics of Nutrients in a Tidal Estuary in the Seto Inland Sea, Japan, Journal of Oceanography, 54, 66-76.
- 11) Uncles, R. J. and J. A. Stephens, 1996, Salt intrusion in the Tweed Estuary, Estuar. Coast. Shelf Sci., 43, 271-293.
- 12) Balls, P. W., 1994, Nutrient inputs to estuaries from nine Scottish east coast rivers; influence of estuarine processes on inputs to the North Sea, Estuar. Coast. Shelf Sci., 39, 329-342.
- 13) Hernandez-Ayon, J. M., M. S. Galindo-Bect, B. P. Flores-Baez, and S. Alvarez-Borrego, 1993, Nutrients concentrations are high in the

- turbid waters of the Colorado water Delta, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 3, 593-602.
- 14) Yin, K., P. J. Harrison, S. Pond, and R. J. Beamish, 1995a, Entrainment of nitrate in the Fraser river estuary and its biological implications. II. Effects of spring vs. neap tide and river discharge, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 40, 529-544.
 - 15) Yin, K., P. J. Harrison, S. Pond, and R. J. Beamish, 1995(b), Entrainment of nitrate in the Fraser river estuary and its biological implications. III. Effects of winds, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 40, 545-558.
 - 16) 산업기지 개발공사, 1979. 한국 하천 조사서.
 - 17) 해양수산부, 1998, 해양환경공정시험법, 고시 제 1998-4호, 1-132.
 - 18) Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, 1972, A practical handbook of seawater analysis, 2nd ed.
 - 19) 해양수산부, 국립해양조사원, 2001, 조석표.
 - 20) 기상청, 기상월보, 2001, 6-7.
 - 21) 권정노, 1999, 하계 금강하구해역의 수질특성, 군산대학교 석사학위논문.
 - 22) Page, H. M., R. L. Petty, and D. E. Meade, 1995, Influence of watershed runoff on nutrient dynamics in a southern california salt marsh, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 41, 163-184.
 - 23) Froelich, P. N., 1988, Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries : a primer on the phosphate buffer mechanism, *Limnol. Oceanogr.*, 33, 649-668.
 - 24) Edmond, J. M., E. A. Boyle, B. Gromd, and R. F. Stallard, 1981, The chemical mass balance in the amazon plume I, The Nutrients, *Deep-Sea Res.*, 28, 1339-1374.
 - 25) Saino, T., 1985, Nutrient dynamic in the estuarine and coastal waters, *Bull. Coast. Oceanogr.*, 23(1), 88-103.
 - 26) Tanaka, K. and S. Hamada, 1987, Investigations on nutrients in turbid estuaries : Buffering of phosphate concentration by suspended sediments, *Bull. Coast. Oceanogr.*, 24(2), 125-133.
 - 27) Fox, L. E., 1990, Geochemistry of dissolved phosphate in the sepik River and estuary, Papua, New Guinea, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54, 1019-1024.
 - 28) Edmond, J. M., A. Spivack, B. C. Grant, H. N. Hui, C. Zexiam, C. Sung, and Z. Xiushau, 1985, Chemical dynamics of the chanijang estuary, *Continental shelf Res.*, 4, 17-36.
 - 29) Redifield, A. C., B. H. Ketchum, and F. A. Richard, 1963, The influence of organics on the composition of sea water. In *The Sea*, M. N. Hill, John Wiley, New York, 2, 26-77pp.